

JURNAL TEKNIK SIPIL

Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil

Kekakuan dan Kekuatan Lentur Maksimum Balok Glulam dan Utuh Kayu Akasia

Indah Sulistyawati

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Trisakti.
Jl. Kyai Tapa No. 1, Jakarta 11440
E-mail: indahusakti@yahoo.com

Naresworo Nugoho

Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor, Dramaga Bogor.
E-mail: naresworo@yahoo.com

Surjono Suryokusumo

Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor, Dramaga Bogor.
E-mail: arina.suryokusumo@gmail.com

Yusuf Sudo Hadi

Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor, Dramaga Bogor.
E-mail: yshadi@indo.net.id

Abstrak

Glulam merupakan salah satu metoda mengatasi keterbatasan dimensi bahan dasar kayu yang tersedia. Dengan mempersiapkan lamina-lamina dan menyusunnya serta melakukan proses perekatan antar permukaan lamina dapat menghasilkan dimensi balok sesuai kebutuhan. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan nilai kekakuan dan kekuatan lentur maksimum balok glulam dengan ketebalan lamina yang berbeda serta membandingkannya terhadap balok utuh. Kekakuan dinyatakan dalam MOE (modulus of elasticity), dan kekuatan lentur maksimum dinyatakan dalam MOR (modulus of rupture). Penelitian ini menggunakan kayu Akasia (Acacia mangium) termasuk kayu dengan kerapatan menengah. Balok glulam dibagi menjadi 3 (tiga) kelompok ketebalan lamina, masing-masing 20 mm, 15 mm and 10 mm. Selain balok glulam disiapkan pula balok utuh. Penampang melintang balok glulam maupun balok utuh adalah 60 mm x 60 mm. Perekat yang digunakan adalah Polyurethane merupakan Water Based Polymer Isocyanate. Perekat terdiri dari dua bagian; bagian pertama adalah PI 3100 sebagai cairan resin, dan H7 sebagai cairan pengeras. Berat labur perekat diaplikasikan sebesar 280 g/m² pada kedua permukaan rekatan. Prosedur pengujian dilaboratorium dilakukan berdasarkan ASTM D143-05, Standard Test Methods for Small Clear Specimen of Wood. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi penampang melintang balok glulam mempengaruhi nilai MOE dan MOR-nya; semakin tipis ketebalan lamina mempunyai tendensi semakin tinggi MOE dan MOR-nya; nilai MOE dan MOR balok glulam tidak berbeda nyata dengan balok utuh, dan kedua nilai tersebut dipengaruhi oleh tipe kerusakan balok.

Kata-kata Kunci: Glulam, lamina, MOE, MOR.

Abstract

Glued Laminated Beam represents one method in overcoming limited dimension of available raw material of wood. By stacking sequence of several timber layers to be bonded with glue perfectly, the dimension which was required could be obtained. The objectives of this research were to determine the stiffness and maximum bending strength of glued laminated beam (glulam) with different thickness of lamina; it was compared to solid beam. The stiffness was represented as MOE (modulus of elasticity), and maximum bending strength as MOR (modulus of rupture). This research used Acacia (Acacia mangium) as a medium density wood. Glulam beam was divided into 3 (three) groups based on the thickness of lamina, 20 mm, 15 mm and 10 mm respectively. Solid beam was also prepared besides glulam beam. The cross section of glulam and solid beam was 60 mm x 60 mm. The adhesive, Polyurethane was used as Water Based Polymer Isocyanate. It consisted of two parts; the first part of the adhesive was PI 3100 as a liquid resin, and H7 as a liquid hardener. The two parts were mixed in the ratio of

100:15 by weight. The glue spread of adhesive was applied 280 g/m² in a double spread. The procedure of investigation in the laboratory was tested in accordance with ASTM D143-05, Standard Test Methods for Small Clear Specimen of Wood. The result showed that the cross section configuration of glulam beam influenced in the value of MOE and MOR; the lesser the thickness of lamina the higher MOE and MOR value tendency were; the MOE and MOR of glulam beam were not significant different with solid beam, and it were influenced by the type of failure.

Keywords: *Glued laminated, modulus of elasticity, modulus of rupture, stiffness, strength.*

1. Pendahuluan

Kerusakan hutan terjadi akibat adanya penebangan ilegal, kebakaran hutan, pelanggaran tata guna wilayah hutan dan implementasi penggunaan tanah hutan yang menyimpang. Keadaan ini mengakibatkan terjadinya pengurangan produksi kayu dari hutan alam, sehingga terjadi keterbatasan ketersediaan kayu berdiameter besar. Di sisi lain, dengan semakin meningkatnya pertambahan penduduk kebutuhan kayu untuk berbagai keperluan juga semakin meningkat.

Pada pertengahan tahun 1980-an pemerintah Indonesia memulai membangun kawasan hutan tanaman industri (HTI) yang cepat tumbuh (FWI/GFW, 2001). Pemerintah menetapkan program HTI sebagai rencana untuk menyediakan pasokan tambahan kayu yang berasal dari hutan-hutan alam selain melakukan melakukan rehabilitasi lahan yang terdegradasi. Produksi yang dihasilkan dari HTI adalah untuk memenuhi kebutuhan kayu pulp dan kayu pertukangan. Berdasarkan Statistik Kehutanan Indonesia tahun 2005 (Departemen Kehutanan, 2006) menyatakan bahwa produksi kayu dari hutan tanaman sebesar 13.58 juta m³ sedangkan dari hutan alam sebesar 9,33 juta m³. Dapat dilihat bahwa potensi hutan tanaman industri adalah cukup tinggi jika dibandingkan dengan hutan alam.

Pada umumnya kayu yang dihasilkan dari jenis cepat tumbuh mempunyai diameter kecil karena siklus pemotongan yang pendek, sehingga kayu sebagai bahan alamiah berupa balok atau log belum merupakan produk yang efisien sebagai komponen struktural. Adanya ketersediaan balok dengan diameter kecil, sedangkan kebutuhan sebagian komponen struktural memerlukan dimensi cukup besar, maka perlu suatu metoda yang dapat memenuhi kebutuhan tersebut.

Untuk memenuhi ketersediaan komponen struktural dengan dimensi yang tidak tergantung dengan diameter kayu, dikembangkanlah bentuk struktur bukan kayu utuh melainkan komponen laminasi yang

dibuat melalui perekatan atau biasa disebut dengan balok laminasi atau Glulam (*Glued Laminated*). Glulam adalah susunan beberapa lapis kayu direkatkan satu sama lain secara sempurna menjadi satu kesatuan tanpa terjadi diskontinuitas perpindahan tempat (Serrano, 2002). Prinsip desain laminasi adalah memaksimalkan dimensi dengan meminimalkan material. Apabila prinsip tersebut dapat dilakukan secara simultan maka tujuan penggunaan laminasi dapat dicapai secara maksimal, sehingga laminasi merupakan desain ekonomis dengan tetap memenuhi prinsip struktural (Bodig dan Jayne, 2003). Moody dkk., 1999 menyatakan bahwa glulam merupakan rekayasa produk pengaturan tegangan (*stress-rated product*) yang terdiri dari dua atau lebih lapisan kayu yang direkat satu dengan lainnya secara bersama-sama dengan arah serat longitudinal seluruh lapisan yang disebut sebagai lamina, paralel terhadap panjangnya. Moody dkk., 1999 juga menyatakan bahwa glulam merupakan bahan yang terbuat dari lapisan kayu pilihan.

Balok kayu utuh dengan adanya cacat kayu, mengakibatkan kapasitas memikul beban menjadi lebih kecil, dengan memotong menjadi beberapa lapis lebih tipis dan kemudian merekatkan kembali dengan menghilangkan cacat kayu atau mengatur posisi cacat kayu secara tepat maka sifat mekanisnya akan meningkat. Dinyatakan oleh Berglund dan Rowell (2005), bahwa keuntungan paling besar dari penggunaan glulam adalah untuk menghasilkan balok besar dapat dibuat dari kayu dengan log berdiameter kecil, kayu dengan kualitas rendah, serta kayu tipis dapat dikeringkan lebih cepat daripada kayu dengan dimensi besar.

Perekat merupakan material dengan sifat berbeda dengan kayu. Adanya perekat diantara lapisan kayu pada glulam, memungkinkan terjadi perubahan sifat mekanis glulam, seperti kekakuan dan kekuatannya. Dengan dimensi penampang melintang glulam yang sama, dapat disusun sejumlah lamina secara horizontal dengan ketebalan tertentu. Semakin banyak jumlah

lamina, semakin tipis tebal lamina. Semakin banyak jumlah lamina semakin besar luas bidang rekatan. Pengaruh adanya bahan perekat dan perbedaan ketebalan lamina pada balok glulam perlu diamati untuk mengetahui kemampuan kekakuan dan kekuatannya.

Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan nilai kekakuan (MOE) dan kekuatan lentur ultimate (MOR) balok glulam dengan ketebalan lamina yang berbeda serta membandingkannya terhadap balok utuh.

2. Bahan dan Metode

2.1 Bahan dan peralatan

Kayu yang digunakan pada penelitian ini adalah Akasia (*Acacia mangium*, famili *Leguminosae*) yang merupakan kayu cepat tumbuh (*fast growing species*). Kayu ditebang dari Legok, Perum Perhutani Unit III, Bogor, Jawa Barat dengan diameter log sekitar 22 cm dan umur tanam sekitar 8 tahun.

Perekat yang digunakan adalah polyurethane (*Water Based Polymer Isocyanate*, WBPI). Perekat dengan nama PI-3100 terdiri dari 2 komponen yaitu *base resin* dan *hardener* (H-7).

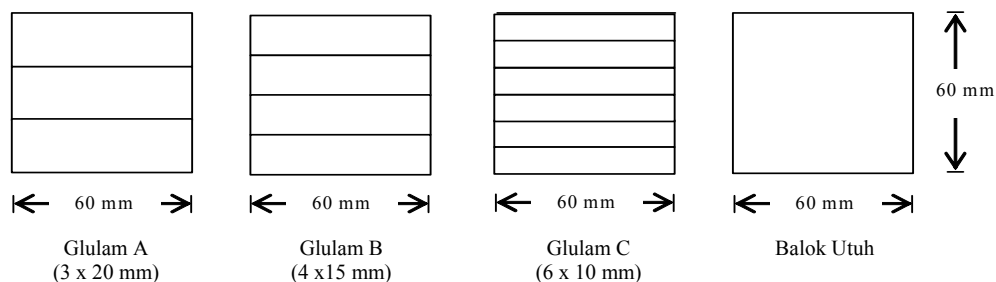
Kilang pengering digunakan untuk proses pengeringan lamina maupun balok utuh. Pengujian lentur dilakukan menggunakan *Universal Testing Machine, Instron 330 Type* dengan kapasitas beban sebesar 50 KN. Pelaksanaan pengujian dilakukan di Laboratorium Keteknikan Kayu Fakultas Kehutanan, Departemen Hasil Hutan, Institut Pertanian Bogor, Jawa Barat.

2.1.1 Penyiapan benda uji

Balok kayu untuk glulam maupun balok utuh dipotong dari log kayu dengan arah longitudinal. Papan lamina dibuat dengan ketebalan masing-masing 25 mm, 20 mm, dan 15 mm dengan lebar 60 mm dan panjang 1000 mm. Balok utuh disiapkan dengan ukuran 65 mm x 65 mm x 1000 mm untuk tebal, lebar dan panjang. Seluruh lamina dan balok utuh dikeringkan dengan kilang pengering sampai mencapai kadar air kesetimbangan sekitar 14%. Permukaan lamina

maupun balok utuh dihaluskan sehingga tebal lamina masing-masing menjadi 20 mm, 15 mm, dan 10 mm dengan lebar seluruhnya 60 mm dan panjang 900 mm, serta dimensi balok utuh menjadi 60 mm x 60 mm x 900 mm untuk lebar, tinggi dan panjangnya. Pemilahan seluruh lamina dilakukan berdasarkan modulus elastisitasnya (MOE) dengan cara mengadakan pengujian lentur sistim *non destructive test*. Masing-masing lamina diletakkan diatas dua perletakan sederhana, dan diberikan beban terpusat ditengah bentang serta dilakukan pengukuran defleksi dengan alat deflektometer ditengah bentang. Lamina dengan kelompok ketebalannya dikumpulkan berdasarkan besar MOE yang sama. Masing-masing lamina dengan ketebalan 20 mm disusun sebanyak 3 lapis, 15 mm sebanyak 4 lapis, dan 10 mm sebanyak 6 lapis, dan dikelompokkan untuk menjadi balok glulam A, B, dan C. Formasi MOE balok glulam dengan masing-masing ketebalan diatur sehingga mempunyai nilai yang mendekati sama dengan MOE balok utuh; masing-masing jumlah benda uji balok glulam A, B, C, dan balok utuh adalah 10 (sepuluh) buah.

Perekat disiapkan sesuai dengan standar teknik yang ditentukan dari produsen. Sebelum diaplikasikan, kedua komponen perekat yaitu resin dan hardener dicampur dan diaduk sampai rata dengan perbandingan 100 : 15 (berdasarkan berat). Sebelum proses perekatan, permukaan lamina dalam keadaan halus, dibersihkan dari segala kotoran. Seluruh sistim pelaburan perekat dilakukan dengan menggunakan kape, dan dilaburkan pada kedua permukaan (*double spread*) lamina dengan berat labur 280 g/m². Perekatan dimulai pada lapisan balok glulam terbawah, dilanjutkan dengan lapisan lebih atas. Balok laminasi yang telah selesai seluruh proses perekatan diletakkan diantara 2 (dua) buah profil besi siku yang dilengkapi dengan pelat besi dan selanjutnya dilakukan kempa dingin dengan cara diklem setiap jarak 30 cm selama 2 (dua) jam. Sebelum diadakan perataan kembali seluruh permukaan glulam dan diadakan pengujian lentur, balok glulam perlu dikondisikan terlebih dahulu selama 7 hari untuk menjamin proses pematangan perekatan. Pengukuran dimensi penampang melintang yang terdiri dari lebar dan tinggi balok dilakukan pada seluruh balok glulam maupun utuh. **Gambar 1** menunjukkan penampang balok laminasi maupun utuh.



Gambar 1. Penampang melintang balok laminasi dan utuh



Gambar 2. Proses pengempaan balok laminasi

2.2 Pengujian lentur balok laminasi dan balok utuh

Setiap balok laminasi dan balok utuh diletakkan di atas dua perletakan dengan bentang antara keduanya 830 mm. Perbandingan dari panjang bentang dan tinggi penampang balok adalah sekitar 14. Uji lentur dilakukan berdasarkan peraturan *ASTM D 143 (2005)*, *Test Methods for Small Clear Specimen of Wood*. Pengujian lentur balok dengan memberikan beban terpusat ditengah bentang menggunakan *Universal Testing Machine, Instron 330 Type* dengan kapasitas beban sebesar 50 KN, dilengkapi dengan software seri 9 (**Gambar 3**). Kecepatan pembebanan adalah 3 mm/menit, dan pengujian dilakukan sampai terjadi kegagalan (*failure*) pada masing-masing balok.

Hasil uji lentur menghasilkan data defleksi (Δ) dan beban terpusat (P) yang bekerja ditengah bentang. MOE diperoleh dengan perhitungan secara analitik dengan mengambil data defleksi dari grafik $P - \Delta$ yang menunjukkan garis linier yaitu hubungan dalam batas elastis. Persamaan untuk memperoleh modulus elastisitas MOE adalah:

$$MOE = \frac{PL^3}{4 \Delta bh^3} \quad (1)$$

MOR (*modulus of rupture* = modulus patahan) merupakan tegangan lentur pada serat tepi atas atau bawah penampang balok yang paling jauh dari titik berat penampang akibat gaya maksimum yang bekerja pada saat terjadi kegagalan (*failure*). Persamaan untuk memperoleh nilai MOR adalah:

$$MOR = \frac{3}{2} \frac{PL}{bh^2} \quad (2)$$

dimana:

P = beban (N)



Gambar 3. Pengujian lentur menggunakan UTM Instron 330

L = panjang bentang (mm)

b = lebar potongan melintang penampang (mm)

h = tinggi potongan melintang penampang (mm)

Δ = defleksi (mm)

3. Hasil dan Pembahasan

Kekakuan (*stiffness*) merupakan kemampuan menahan perubahan bentuk atau lengkungan, dan modulus elastisitas (MOE) kayu merupakan indikasi dari kekakuan. Mamlouk dan Zaniewski, 2006 menyatakan bahwa MOE adalah kemiringan proporsional garis linear dari kurva tegangan dan regangan. MOR (*modulus of rupture*) merupakan kekuatan serat yang terjadi pada beban maksimum yaitu pada saat benda mengalami kegagalan (*failure*), dan dikatakan sebagai kekuatan maksimum.

Hasil pengujian lentur balok laminasi dan balok utuh dengan beban terpusat ditengah bentang dibuat grafik hubungan $P-\Delta$, dan selanjutnya diadakan perhitungan MOE menggunakan **Persamaan (1)** dan MOR dengan **Persamaan (2)**. **Gambar 4** menunjukkan bahwa MOE rata-rata glulam A terdiri dari tiga lamina dengan masing-masing ketebalan 20 mm adalah 11.3% lebih rendah dari balok utuh. Glulam B terdiri dari empat lamina dengan masing-masing ketebalan 15 mm mempunyai nilai MOE 11.0% lebih tinggi dari balok utuh. Sedangkan Glulam C terdiri dari enam lamina dengan masing-masing ketebalan 10 mm adalah 9.5% lebih tinggi dari balok utuh.

Analisis sidik ragam dengan selang kepercayaan 95%, nilai $F_{hitung} > F_{(a=5\%)}$, dimana $F_{hitung} = 6.47$ dan $F_{(a=5\%)} = 2.87$, nilai MOE dipengaruhi oleh konfigurasi penampang balok. Uji lanjut DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) menunjukkan bahwa MOE balok laminasi dengan ketebalan lamina 15 mm (glulam B)

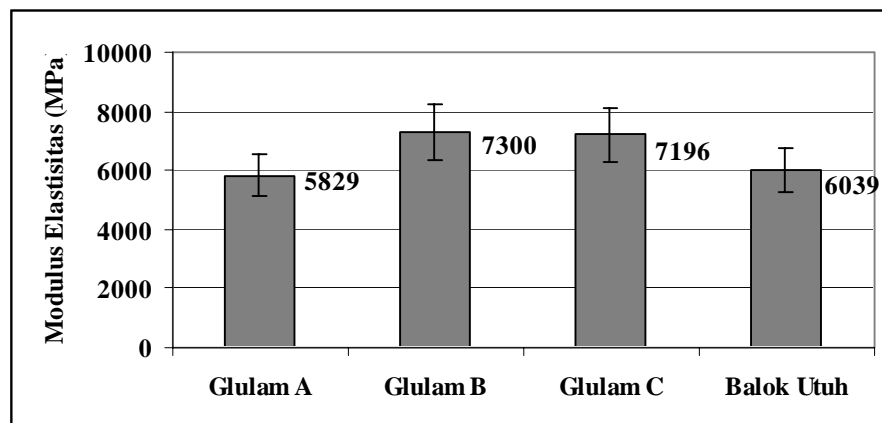
setara dengan 10 mm (glulam C), dan keduanya setara dengan balok utuh. MOE glulam dengan ketebalan lamina 20 mm (glulam A) tidak setara dengan glulam B dan C, tetapi setara dengan balok utuh.

Ketebalan lamina glulam B dan C lebih tipis jika dibandingkan dengan A, dan jumlah lamina glulam B dan C lebih banyak daripada A, maka luas bidang rekatan glulam B dan C lebih besar jika dibandingkan dengan A. Hasil penelitian menunjukkan MOE glulam B dan C lebih besar daripada A, maka luas bidang rekatan mempunyai pengaruh terhadap nilai MOE. Lebih besar luas rekatan lebih besar nilai MOE balok glulam atau kekakuannya. Meskipun luas rekatan glulam C lebih besar daripada B, MOE glulam C lebih kecil daripada B, tetapi MOE keduanya setara.

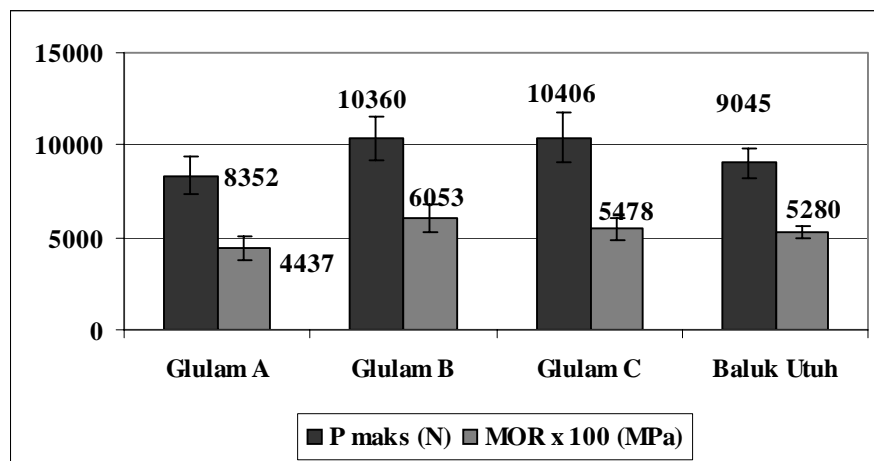
Gambar 5 menunjukkan beban maksimum dan MOR yang terjadi pada ketiga jenis glulam A, B, dan C serta balok utuh. Ditinjau dari tiga balok glulam, C dengan ketebalan lamina 10 mm merupakan balok yang menahan beban maksimum terbesar, yaitu 10.406 N, diikuti dengan glulam B dengan ketebalan lamina 15 mm, 10.360 N dan selanjutnya glulam A tebal lamina 20 mm menahan beban maksimum paling kecil, 8.352

N. Balok utuh menahan beban maksimum 9.045 N, lebih kecil dari glulam B dan C, tetapi lebih besar dari glulam A. Beban maksimum yang dapat dipikul oleh glulam A adalah 7,7% lebih rendah, glulam B dan C masing-masing 14,5% dan 15,0% lebih tinggi apabila dibandingkan dengan balok utuh. Apabila ditinjau dari nilai rata-rata ketiga jenis glulam, diperoleh hasil beban maksimum rata-rata adalah 9.706 N atau 7,3% lebih besar apabila dibandingkan terhadap beban maksimum yang dapat ditahan balok utuh. MOR glulam A adalah 16,0% lebih rendah, dan masing-masing 14,7% serta 3,6% lebih tinggi untuk glulam B dan C apabila dibandingkan terhadap balok utuh.

Analisis sidik ragam dengan selang kepercayaan 95%, nilai $F_{hitung} > F_{(\alpha = 5\%)}$, dimana $F_{hitung} = 12,73$ dan $F_{(\alpha = 5\%)} = 2,87$, nilai MOR dipengaruhi oleh konfigurasi penampang balok. Uji lanjut DMRT menunjukkan bahwa MOR glulam dengan ketebalan lamina 15 mm (glulam B) berbeda nyata dengan ketebalan lamina 10 mm (glulam C), 20 mm (glulam A), dan balok utuh. Sedangkan glulam C dengan ketebalan lamina 10 mm tidak berbeda nyata dengan balok utuh.



Gambar 4. Modulus elastisitas balok laminasi (glulam) dan balok utuh



Gambar 5. Beban maksimum dan MOR balok glulam dan balok utuh

Rasio beban maksimum terhadap nilai MOR balok glulam A, B, C maupun balok utuh masing-masing adalah 1.9, 1.7, 1.9, dan 1.7. Glulam C dapat mencapai beban maksimum sebesar 10.406 N, lebih besar dari balok glulam B, yaitu 10.360 N, tetapi MOR glulam C sebesar 54.78 MPa lebih kecil dari pada MOR glulam B, yaitu 60.53 MPa. Seharusnya perbandingan beban maksimum yang dapat dipikul terhadap MOR yang terjadi pada masing-masing balok glulam maupun balok utuh adalah sama. Pada kenyataannya kedua nilai tersebut berbeda, hal ini terjadi oleh karena beban maksimum diperoleh secara langsung dari pengujian lentur yang dilakukan pada saat pengujian laboratorium, sedangkan MOR merupakan hasil perhitungan yang dipengaruhi oleh dimensi penampang balok. Dimensi balok yang dimaksud adalah lebar dan tinggi glulam maupun balok utuh. Pengukuran dimensi hanya dilakukan pada tiga lokasi saja, yaitu pada bagian kiri, tengah dan kanan dari balok, kemudian diadakan perhitungan dimensi penampang rata-ratanya. Perbedaan juga terjadi oleh karena terdapat ketidakseragaman penampang pada seluruh panjang balok dan sifat heterogen kayu. Kayu merupakan *bio-material* oleh karena kayu merupakan suatu bahan yang berasal dari proses metabolisme organisme hidup yaitu tumbuh-tumbuhan berkayu yang berbentuk pohon (Bowyer dkk. 2003). Sifat heterogen kayu merupakan salah satu sifat utama yang menunjukkan bahwa proses metabolisme organisme mengakibatkan ketidak seragaman pada kayu. Apabila balok diasumsikan sebagai bahan yang homogen pada seluruh panjangnya, seharusnya tidak terjadi perbedaan rasio beban maksimum dan MOR pada masing-masing tipe balok glulam terhadap balok utuh. Sifat heterogen material kayu mempengaruhi beban maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji (Bakar, S.A. dkk, 2004). Perbedaan terjadi diantara balok glulam sendiri maupun terhadap balok utuh, selain dari sifat homogenitas bahan kayu juga disebabkan oleh beberapa parameter antara lain kualitas perekatan maupun jumlah lamina pada glulam sehubungan dengan total luas rekatannya. Falk dan Colling, 1995 menyatakan bahwa adanya rekatatan laminasi dapat menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan laminanya sendiri.

Tipikal kerusakan yang terjadi pada masing-masing kelompok balok glulam digunakan sebagai pengamatan terjadinya perbedaan nilai beban maksimum yang dapat ditahan dan nilai MOR-nya. Secara umum tipe kerusakan balok glulam maupun balok utuh dapat dilihat pada **Gambar 6**. Hasil pengamatan pada saat pengujian lentur di laboratorium terlihat bahwa dari sepuluh benda uji glulam A sebanyak lima buah mengalami kerusakan pada serat terluar balok yaitu pada daerah tarik dan kerusakan slip terjadi pada rekatatan lamina lapis terbawah balok.

Lima benda uji lain nya yang termasuk glulam A mengalami kerusakan pada serat terbawah balok, tanpa terjadi kerusakan slip antar lamina. Hampir seluruh kerusakan glulam B terjadi pada serat terluar balok yang merupakan daerah tarik, hanya terdapat satu balok mengalami kerusakan pada serat terluar daerah tarik dan kerusakan slip pada rekatatan lamina lapis terbawah balok. Pada glulam C, dari sepuluh benda uji terdapat dua buah benda uji mengalami kerusakan slip pada daerah rekatatan antar lamina, masing-masing satu buah terjadi kerusakan slip pada rekatatan lamina lapis pertama atau terbawah, satu buah benda uji kerusakan slip pada rekatatan lamina lapis pertama dan kedua, balok lainnya yang termasuk glulam C mengalami kerusakan sisi terluar yaitu pada daerah tarik balok. Kegagalan (*failure*) glulam horizontal sering diawali dengan terjadinya slip pada sambungan antara lapisan diikuti kerusakan pada daerah tarik yaitu pada serat bawah penampang (Sulistyawati dkk., 2008).

Gambar 7 menunjukkan nilai MOE dan MOR rata-rata seluruh balok glulam A, B dan C, juga MOE dan MOR rata-rata balok utuh. Besar MOE rata-rata balok glulam 3,0% lebih tinggi jika dibandingkan dengan MOE balok utuh. Begitu pula MOR balok glulam 0.81% lebih tinggi jika dibandingkan dengan MOR balok utuh.

Gambar 8 menunjukkan hubungan MOE-MOR rata-rata dari balok Glulam A, B dan C, yaitu balok glulam dengan lamina masing-masing 3 x 2 cm, 4 x 1.5 cm, dan 6 x 1.0 cm. Berdasarkan regresi tipe eksponensial dapat dituliskan hubungan MOE dan MOR ketiga jenis glulam adalah $y = 3.741.6e^{0.0109x}$ dengan derajat kepercayaan $R^2 = 0.3853$. Sedangkan **Gambar 9** menunjukkan hubungan MOE-MOR untuk balok utuh dan dapat dituliskan dalam bentuk persamaan $y = 1680.4e^{0.0257x}$ dengan derajat kepercayaan $R^2 = 0.6509$.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Konfigurasi penampang balok glulam dan balok utuh mempengaruhi nilai kekakuan dan kekuatan maksimumnya.
2. Kekakuan balok glulam dengan ketebalan lamina masing-masing 20 mm, 15mm, dan 10 mm tidak berbeda nyata dengan balok utuh, tetapi kekakuan balok glulam dengan ketebalan 20 mm berbeda nyata dengan balok glulam yang mempunyai ketebalan lamina masing-masing 15 mm dan 10 mm. Semakin tipis ketebalan lamina balok glulam, cenderung kekakuan balok glulam semakin besar.

3. Kekuatan lentur maksimum balok glulam dengan ketebalan lamina 15 mm berbeda nyata dengan ketebalan lamina 10 mm, 20 mm, dan balok utuh. Sedangkan kekuatan lentur maksimum balok glulam dengan ketebalan 10 mm tidak berbeda nyata dengan balok utuh. Semakin tipis ketebalan lamina balok glulam cenderung kekuatan lentur maksimum balok glulam semakin besar.
4. Besar kekakuan atau MOE rata-rata balok glulam 3,0% lebih tinggi jika dibandingkan dengan balok utuh. Begitu pula untuk nilai kekuatan lentur maksimum atau MOR balok glulam adalah 0.81% lebih tinggi jika dibandingkan balok utuh.
5. Kekakuan dan kekuatan lentur maksimum balok glulam semakin kecil apabila terjadi kerusakan slip pada antar lapisan lamina.

5. Saran

Untuk keperluan optimalisasi kemampuan balok glulam, selain mengadakan penelitian untuk mengetahui kekakuan dan kekuatan lentur maksimum pada kayu jenis Akasia dengan perekat jenis Polyurethane, perlu dilakukan penelitian yang sama dengan jenis kayu maupun perekat lainnya. Perluasan data analisis digunakan untuk memperoleh kekakuan dan kekuatan lentur balok glulam optimal dengan jenis kayu maupun perekat tertentu, serta selanjutnya dibandingkan dengan balok utuh dengan jenis kayu sama dengan balok glulam yang diuji.

Daftar Pustaka

- ASTM, 2005, *Test Methods for Small Clear Specimen of Wood, ASTM D 143 (2005)*, West Conshohocken: Annual Book of American Society for Testing and Materials Standards.
- Bakar, S.A., Saleh, A.L., and Mhamed, Z.B. 2004, Factor Affecting Ultimate Strength of Solid and Glulam Timber Beams. *Jurnal Kejuruyeraan Awam* 16(1). Hal: 38-47
- Berglund, L., and Rowell, R.M. 2005, *Wood Composites. di dalam: Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. CRC Press LLC. Hal 279-301.
- Bowyer, J.L., Shmulsky, R., and Haygreen, J.G., 2003, *Forest Products and Wood Science*, Iowa State Press. Hal: 205-227.
- Bodiq, J., Jayne, B.A., 2003, *Mechanics of Wood and Wood Composites*, New York: Van Nostrand Reinhold Company, Hal: 335.

Departemen Kehutanan. 2006, *Statistik Kehutanan Indonesia 2005*, Jakarta: Departemen Kehutanan.

Falk, R.H., and Colling, F., 1995. Laminating Effects in Glued-Laminated Timber Beams, *Journal of Structural Engineering*. Hal: 1857-1863.

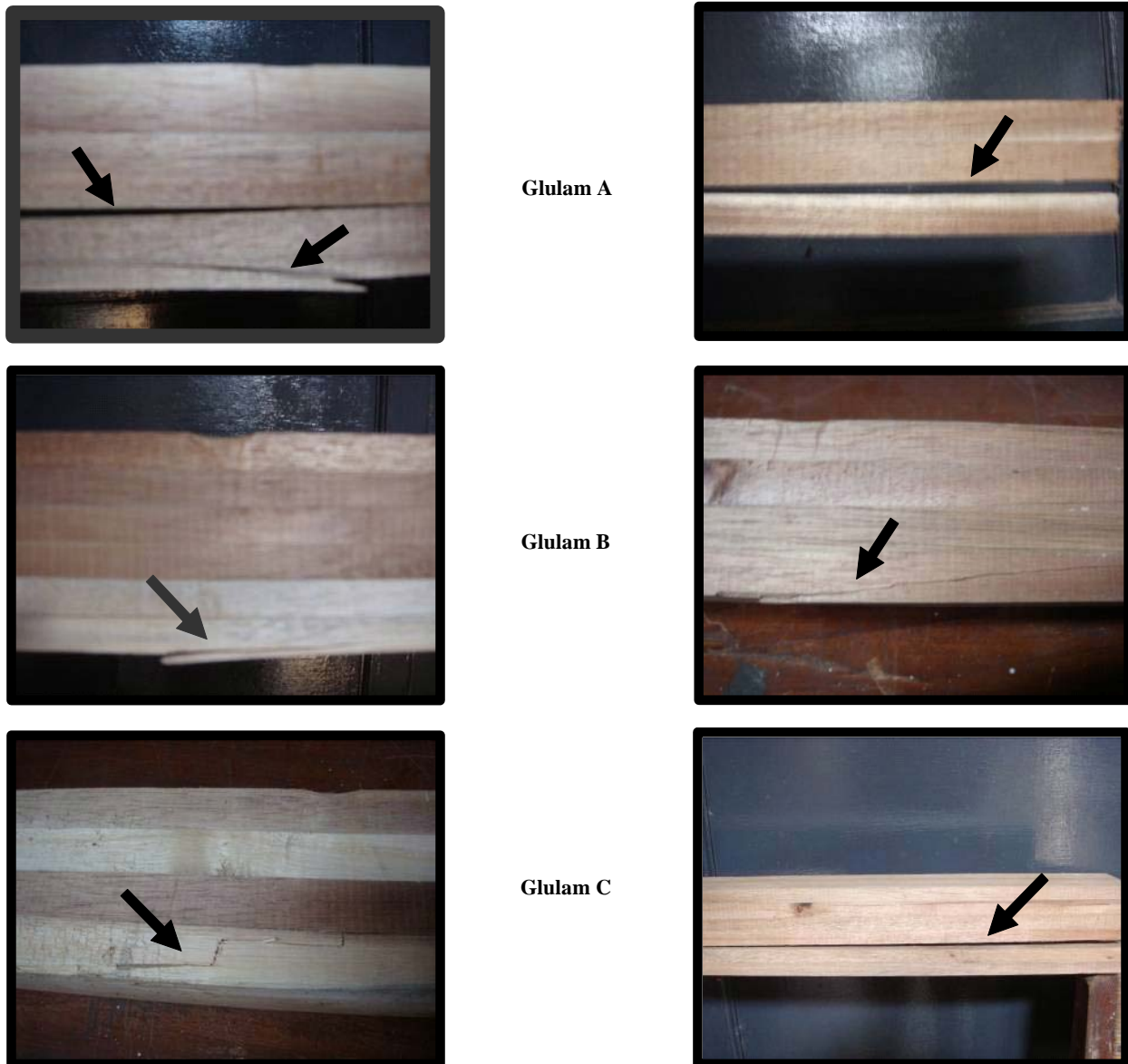
FWI/GFW., 2001, Potret Keadaan Hutan Indonesia. Bogor, Indonesia: Forest Watch Indonesia dan Washington D.C.: *Global Forest Watch*.

Mamlouk, M.S., and Zaniewski, J.P., 2006, *Materials for Civil and Construction Engineer*, Pearson Education, Inc. Prentice Hall. Hal 3-7.

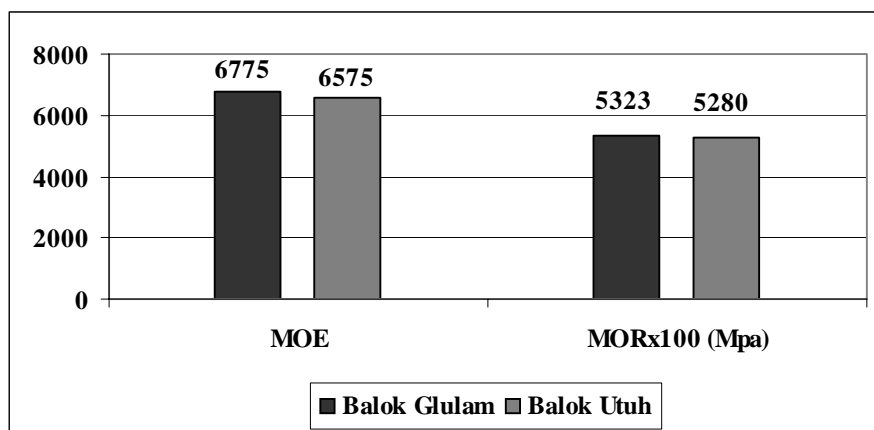
Moody, R.C., Hernandez, R., and Liu, J.Y., 1999, *Glued Structural Members*. Di dalam: Wood Handbook-Wood as an Engineering Material. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113, Madison, WI: US. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory. Hal 11-1 s/d 11-24.

Sulistyawati, I., Nugroho, N., Surjokusumo, S., dan Hadi, Y.S., 2008, The Bending of Vertical and Horizontal Glued Laminated Timber by Transformed Cross Section Method, *Journal of Tropical Wood Science and Technology*, Vol 6 No. 2 Juli 2008, the Indonesian Wood Research Society. Hal 49-55.

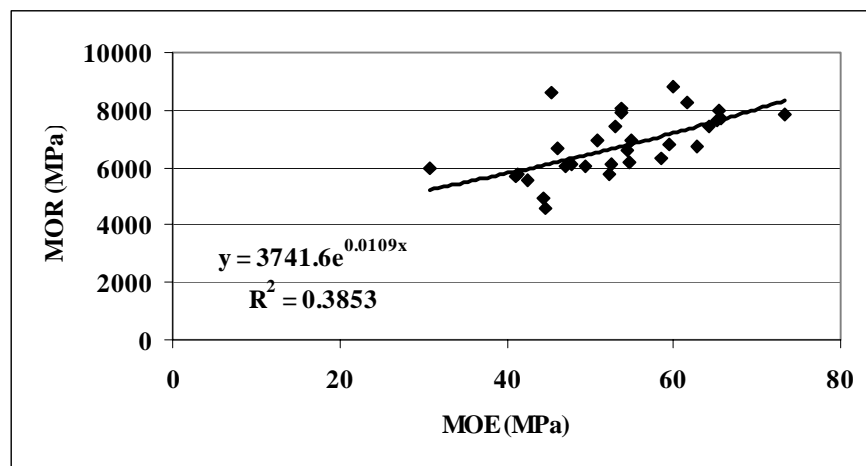
Serrano, E., 2002., *Mechanical Performance and Modelling of Glulam*, di dalam: Timber Engineering, Thelanderson S., Larsen, H.J. John Wiley & Sons. Hal: 67-79.



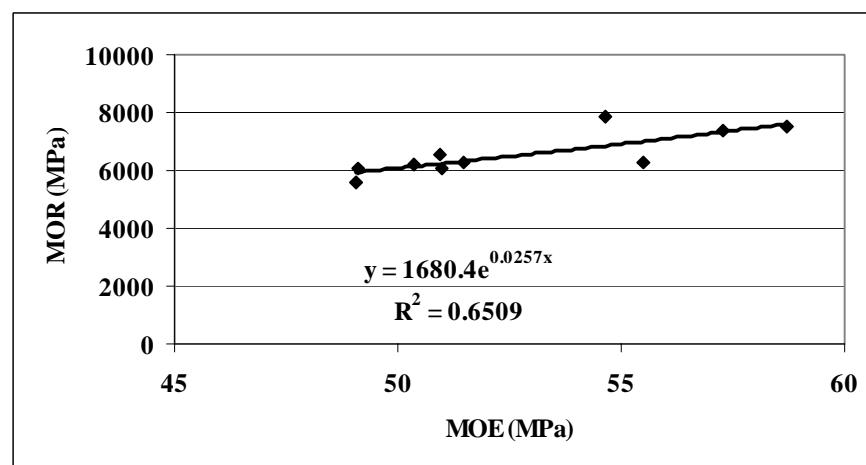
Gambar 6. Tipikal kerusakan balok glulam



Gambar 7. MOE dan MOR rata-rata balok glulam dan balok utuh



Gambar 8. Hubungan MOE-MOR balok glulam



Gambar 9. Hubungan MOE-MOR balok utuh

